

Agrartechnik in Tropen und Subtropen

Joachim Müller

Kurzfassung

Maniok ist als effiziente Stärkequelle eines der wichtigsten Grundnahrungsmittel in Afrika, Milch stellt eine wertvolle Quelle für Protein und Fett dar und Kaffee bildet als Cashcrop die Lebensgrundlage für mehrere Mio. Haushalte in den Tropen. Am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim wird zu diesen drei Produkten intensiv geforscht. Hierzu zählen das maschinelle Schälen und die energieeffiziente Trocknung der Maniokwurzel, die Kühlung von Milch mit PV-Energie sowie die Gewinnung von Biogas aus den Nebenprodukten der primären Kaffeeaufbereitung.

Schlüsselwörter

Nachertetechnologie, Trocknung, Maniok, Kühlung, Milch, Biogas, Kaffeeverarbeitung

Agricultural Engineering in Tropics and Subtropics

Joachim Müller

Abstract

As an efficient source of starch, cassava is one of the most important staple foods in Africa, milk is a valuable source of protein and fat, and coffee, as a cash crop, forms the basis of life for several million households in the tropics. The Institute of Agricultural Engineering at the University of Hohenheim is carrying out intensive research on these three products. This includes the mechanical peeling and energy-efficient drying of cassava root, the cooling of milk with PV energy and the production of biogas from the by-products of primary coffee processing.

Keywords

Postharvest processing, drying, cassava, cooling, milk, biogas, coffee processing

Nachertetechnologie bei Maniok

Maniok (*Manihot esculenta*) stellt in tropischen Regionen eines der wichtigsten Grundnahrungsmittel dar. Im Jahr 2018 betrug die Weltproduktion 278 Mio. Tonnen auf einer Anbaufläche von insgesamt 25 Mio. ha, wobei 60 % der Produktion auf Afrika entfällt [1]. Obwohl Maniok eine sehr effiziente Stärkequelle darstellt, ist der Beitrag zur übrigen Versorgung an Makronährstoffen wie Protein oder Mikronährstoffen wie Vitaminen sehr gering. Da die tägliche Nahrungsversorgung, vor allem in ärmeren Regionen Afrikas, weitgehend auf Maniok basiert, besteht die Gefahr der Fehlernährung durch eine ungenügend balancierte Kost. Dieses Phänomen ist in den letzten Jahren als „hidden hunger“ in den Fokus der internationalen Aufmerksamkeit gerückt [2]. Durch züchterische Bemühungen ist es gelungen, den Gehalt an Provitamin A in Maniok derart zu erhöhen, dass sich der biologisch angereicherte Carotinid-Gehalt auch visuell durch eine gelbe Farbe bemerkbar macht (yellow cassava), **Bild 1**. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, den Mangel an Provitamin A in der betroffenen Bevölkerung zu mindern oder gar zu beheben.



Bild 1: Herkömmlich weiße und biologisch angereicherte, gelbe Maniokknollen (Foto: Ayetigbo, E. O.)

Figure 1: Conventional white and bio-fortified yellow cassava tubers (Foto: Ayetigbo, E. O.)

Da die neuen, biologisch angereicherten Sorten nun auch geänderte chemophysikalische Eigenschaften aufweisen, müssen auch im Bereich der Nachertetechnologie die entsprechenden Grundlagenuntersuchungen aktualisiert werden. Als Beitrag hierzu wurden am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim Untersuchungen zum Trocknungsverhalten von Gelbem Maniok durchgeführt [3]. Hierbei wurde eine osmotische Vortrocknung unter Verwendung von Salz-, Zucker- und Salz/Zucker-Lösungen bei verschiedenen Temperaturen (30, 45, 60 °C) bei unterschiedlichem Verhältnis von Maniok und Lösung untersucht. Es hat sich gezeigt, dass bei höherer Temperatur erwartungsgemäß die Diffusivität zunimmt und dadurch der Wasserentzug steigt. Gleichzeitig nahm auch die Aufnahme von Kolloiden aus der Lösung zu und zwar stärker bei der kombinierten Zucker/Salz-Lösung als bei den reinen Zucker- bzw. Salzlö-

sungen. Die Aufnahme blieb dabei bezüglich der sensorischen Eigenschaften in einem gewünschten Bereich. Somit steht eine leicht zugängliche und kostengünstige Methode zur osmotischen Vortrocknung von Gelbem Maniok zur Verfügung. In weiteren Versuchen wurde ein Verfahren zur Schaumschichttrocknung von Maniok entwickelt [4]. Hierzu werden die Maniokknollen geschält, püriert, geschäumt und getrocknet. Das hierbei entstehende Maniok-Schaumpulver eignet sich in cremebasierten Lebensmitteln wie als Ersatz von tierischen Fetten für eine vegetarische Ernährung. Erste Versuche mit Mayonnaise und Eiscreme verliefen erfolgreich. Weitere Untersuchungen zur Senkung des Cyanid-Gehaltes sowie zu den rheologischen Eigenschaften sind erforderlich, um den Einsatz von Maniok-Schaumpulver in der Lebensmittelindustrie zu etablieren. Ziel ist es hierbei, das Einsatzspektrum von Maniok zu erhöhen und damit neue Einkommensquellen in den Erzeugerländern zu schaffen.

Als ersten Schritt in der Verarbeitung von Maniok müssen die Wurzeln geschält werden. Aufgrund ihrer unregelmäßigen Form entstehen dabei selbst beim manuellen Schälen erhebliche Masseverluste, welche bei messerbasierten mechanischen Schälmaschinen noch wesentlich größer ausfallen. Zur Reduzierung dieser Nachernteverluste wurde am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim eine Schälmaschine entwickelt mit welcher die Schalen durch rotierende Bürsten abrasiv entfernt werden können, **Bild 2** [5].

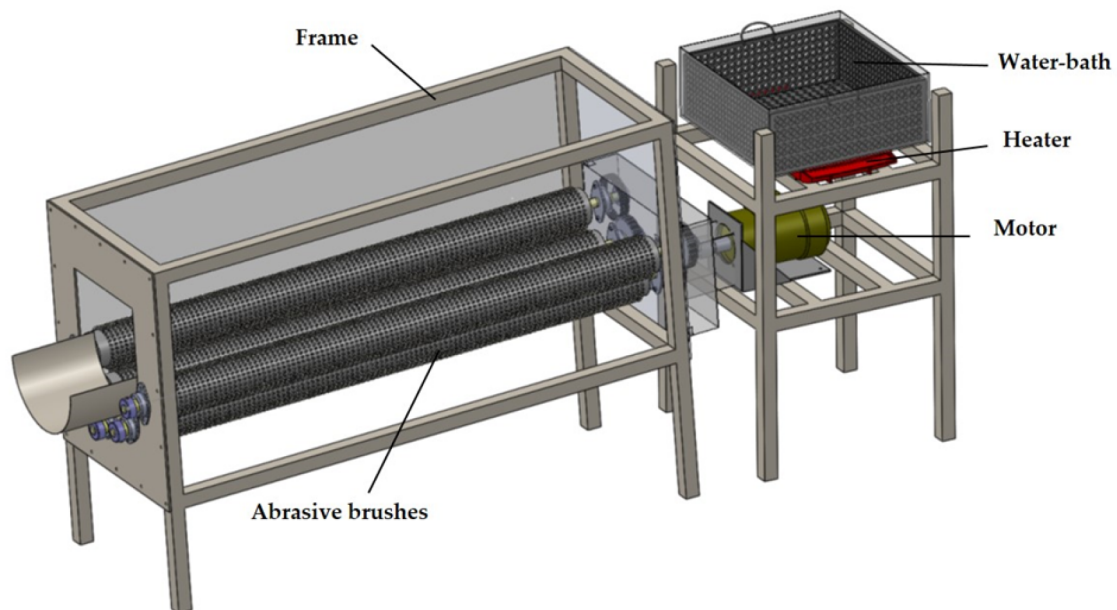


Bild 2: Mechanische Bürstenschälmaschine für Maniokwurzeln [5]

Figure 2: Mechanical peeling machine with brushes for cassava tubers [5]

Zur Unterstützung des Schälvorgangs wurden unterschiedliche Vorbehandlungen untersucht. Cellulose und Hemicellulose sind für die Haftung der Schalen am Fruchtfleisch und die Härte der Schale verantwortlich. Daher wurde versucht, die Schale durch enzymatische Hydrolyse mittels Viscozyme® L anzugreifen. Es handelt sich hierbei um ein kommerziell verfügbares Enzym mit Cellulase- und Hemicellulase-Aktivität [6]. Als Abbauprodukt entsteht Glukose, weshalb deren Gehalt zur Bestimmung der Effizienz herangezogen wurde. Unter Anwendung

der Response Surface Methodology (RSM) wurden die Betriebsparameter Temperatur, pH-Wert, Inkubationszeit und Enzymdosis in entsprechenden Versuchsreihen systematisch variiert, wobei sich aus dem Modell ein maximaler Glukosegehalt bei 50 °C, pH 4,5, einer Inkubationszeit von 3,9 h und die Zugabe von 1,25 ml Enzym pro 1 g Maniok-Schalen ergab. In Fortführung der Versuche wurden die Wurzeln vor der enzymatischen Behandlung mechanisch perforiert und die Effizienz wurde nicht länger im Laborversuch bestimmt, sondern direkt mittels der Bürstenschälmaschine [7]. Hierbei wurde mittels RSM ein Optimum als Kompromiss zwischen Schälgrad und Masseverlust ermittelt. Bei einer Enzymdosis von 1,3 ml pro g Maniok-Wurzeln, einer Inkubationszeit von 2,8 h und einer Schälzeit von 3,5 ergab sich ein Schälgrad von 90 % bei Masseverlusten von 25 %, welche bei einem typischen Ausgangsschalenanteil von 20 % als akzeptabel erscheint.

Milchkühlung

Die Haltung von Milchvieh ist fester Bestandteil vieler kleinbäuerlicher Betriebe in tropischen Regionen. Die Wiederkäuer sind in der Lage, faserreiches Material wie Weidegras und Ernterückstände als Futterquellen zu erschließen und über die Milch für die menschliche Ernährung nutzbar zu machen. Protein und Fett aus der Milch stellen dabei eine wertvolle Ergänzung der ansonsten oft kohlehydratlastigen Ernährungsweise dar. Neben der Versorgung der eigenen Familie ist es das Betriebsziel, Milch als regelmäßige Einkommensquelle zu vermarkten. Hierbei stellt die hohe mikrobielle Verderblichkeit der Milch, speziell unter den hygienischen Rahmenbedingungen und der hohen Umgebungstemperatur eine besondere Herausforderung dar. Ohne Kühlung ist mit einer Verdoppelung der Keimzahl in einem Intervall von 20-40 Minuten zu rechnen. Gemäß ISO-Standard 5708 muss Milch für den Sammeltransport innerhalb von 3 Stunden auf 4°C abgekühlt werden. Nach EU Richtlinien muss Milch auf 8 °C gehalten werden, falls eine tägliche Abholung gewährleistet ist, ansonsten auf 6 °C. Diese Standards können in den kleinbäuerlichen Strukturen in tropischen Regionen mangels technischer Einrichtungen nicht eingehalten werden. Während die Morgenmilch über unterschiedlich organisierte Abholketten innerhalb einiger Stunden die Verbrauchermärkte erreichen kann, geht die Abendmilch für die Vermarktung oft verloren. Die Entwicklung von technisch und ökonomisch geeigneten Milchkühlsystemen stellt deshalb eine wichtige Aufgabe dar. Da in ländlichen Regionen kein Zugang zur Stromversorgung besteht, bietet sich die Nutzung der Solarenergie zum Betrieb von Kühlanlagen an. Das Zusammenspiel zwischen solarer Stromerzeugung, Kühltechnik und Milchqualität stellt ein komplexes System dar und wurde bislang nur wenig wissenschaftlich bearbeitet.

Basierend auf der Bereitstellung von photovoltaischer Energie wurde am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim ein innovatives Konzept zur Kühlung von Milch für kleinbäuerliche Betriebe an netzfernen Standorten entwickelt. Im Unterschied zu bereits bekannten Systemen, bei welchen Milchkannen in Kühlkammern gekühlt werden, beruht das Konzept auf der Einbringung von Eisbehältern in die Milchkannen, **Bild 3**. Damit ist eine rasche Kühlung einer jeden Kanne von innen nach außen möglich und die Kannen können während des Transports weiter gekühlt werden [8; 9]. Der Kühlvorgang wurde modelliert und das Modell wurde durch experimentelle Untersuchungen in einer Klimakammer validiert [10].



Bild 3: PV-System zur Kühlung von Milch in der Kanne durch eisbefüllte Einsätze (Foto: Torres-Toledo, V.)

Figure 3: PV-system for cooling of milk in cans by ice filled inserts (Foto: Torres-Toledo, V.)

Im Fortgang der Arbeit wurde das Kühlsystem verfeinert, indem das Zusammenspiel von photovoltaischer Stromerzeugung und Kälteaggregat durch eine adaptive Regelung optimiert wurde. Parallel dazu gelang es, das Milchkühlungsmodell weiterzuentwickeln und die umgebungsbedingt fluktuierende Energiebereitstellung und die entsprechende Reaktion des Kälteaggregats mit einzubeziehen. Damit ist es nun möglich, die Dynamik der Milchkühlung für unterschiedliche Standorte basierend auf deren Klimadaten zu simulieren. Auch hier wurden die Simulationsergebnisse experimentell validiert, indem eine Klimakammer mit computergesteuerter, dynamischer Temperaturführung etabliert wurde [11]. Des Weiteren wurde das System mit unterschiedlich gestalteten Milchkannen und verschiedenen Kühlungsstrategien erprobt. Da hierbei eine hohe Anzahl von Versuchen erforderlich war, sollte Wasser statt Milch zum Einsatz kommen. Deshalb wurde das Kühlverhalten von Milch und Wasser basierend auf den unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften modelliert. Nun konnten Versuche zum Temperaturverlauf mit Wasser anstelle von Milch bei entsprechender Justierung der Ergebnisse durchgeführt werden. Dies diente zur Identifizierung essentieller Versuchseinstellungen, die dann tatsächlich mit Rohmilch durchgeführt wurden, um den Einfluss der Kühlung auf die Keimzahl zu bestimmen. Hierbei hat sich gezeigt, dass das Milchkühlungssystem in der Lage war, mit einem Energieeinsatz von 33 Wh/l die Milchttemperatur rasch zu senken und über 12 Stunden hinweg unter 13 °C zu halten, was ausreichend war, um einen Anstieg der Keimzahl zu verhindern [12]. Damit eröffnet sich für Kleinbauern eine Möglichkeit zur Vermarktung der Abendmilch.

Biogas aus Nebenprodukten der primären Kaffeeverarbeitung

Kaffeebohnen sind das weltweit am meisten gehandelte landwirtschaftliche Gut. Der monetäre Wert der Kaffeeexporte belief sich 2017 weltweit auf 21 Milliarden USD [1]. Äthiopien, das Herkunftsland von Arabica-Kaffee, ist dabei mit jährlich 460.000 t, und damit 5 % der Weltproduktion, der größte Kaffeeproduzent in Afrika. Die Kaffee Früchte (coffee cherry) sind nicht lagerfähig und werden deshalb direkt nach der Ernte im Erzeugerland aufbereitet. Dabei wird das Fruchtfleisch samt Schleimschicht und Pergamenthülle von den Kaffeebohnen (green coffee) abgetrennt. Pergament, Schleim- und Zellstoff machen etwa 6 %, 12 % und 43 % des Frischkirschengewichts aus. Diese Rückstände werden zusammen mit dem entstehenden Abwasser häufig in der Nähe der Verarbeitungsanlagen unkontrolliert verklappt und verursachen neben einer Geruchsbelästigung eine massive Verunreinigung der Gewässer. Da die Rückstände durch den hohen Gehalt an organischen Verbindungen sehr energiereich sind, bietet sich eine Nutzung zur Gewinnung von Biogas an.

Grüne Kaffeebohnen werden durch die Verarbeitung von frischen Kirschen entweder im Nassverfahren oder im Trockenverfahren gewonnen. Die entsprechenden Verfahrensketten und dabei entstehenden Nebenprodukte sind in **Bild 4** dargestellt.

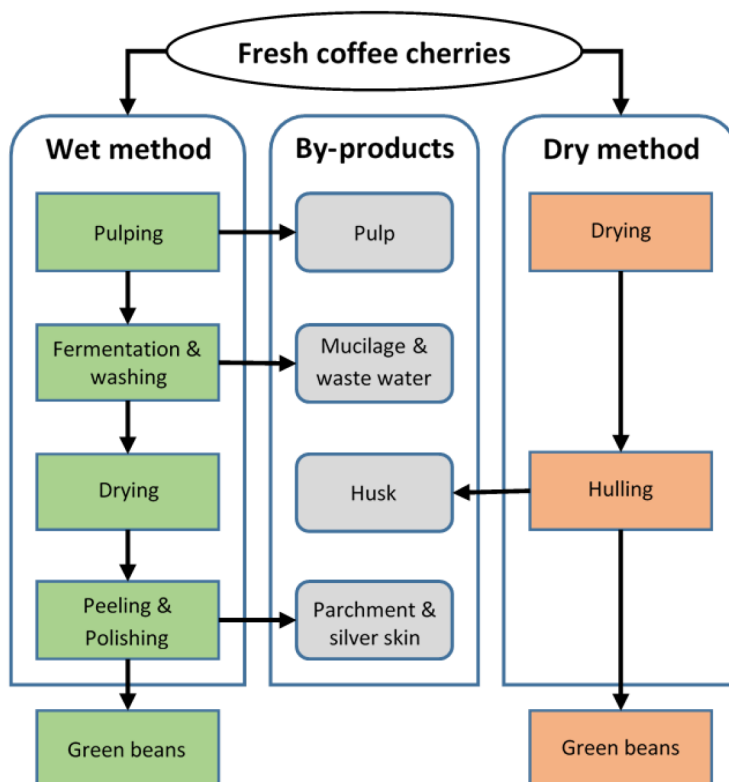


Bild 4: Nass- und Trockenverfahren der primären Kaffeeverarbeitung [13]

Figure 4: Wet- and dry method of primary coffee processing [13]

Bei der Trockenmethode, die überwiegend in kleinbäuerlichen Betrieben vorzufinden ist, wird die Kaffeezirke getrocknet, um danach die trockene Schale mechanisch abzutrennen. Beim

Nassverfahren wird schrittweise das frische Fruchtfleisch mechanisch abgetrennt und die verbleibenden Anhaftungen durch Hydrolyse im Wasserbad gelöst und abgespült. Dabei fallen drei Fraktionen an, nämlich Pulpe, Pergament und Schleimstoff. Im standardisierten Hohenheimer Biogastest (HBT) wurde das Biogasbildungspotential der unterschiedlichen Fraktionen systematisch untersucht [13 bis 15]. Dabei hat sich gezeigt, dass die Fraktionen mit Ausnahme der Pergamentschicht akzeptable Methanerträge liefern, allen voran die Schleimschicht mit nahezu 300 l pro kg organischer Trockensubstanz (oTS). In einer Potenzialabschätzung ergab sich für die Kaffeerückstände in Äthiopien ein potentieller Energieertrag von 238.000 MWh an elektrischer Energie pro Jahr und weiteren 273.000 MWh an thermischer Energie, falls das Biogas in Blockheizkraftwerken (BHKW) umgesetzt würde.

Ermutigt durch das hohe Methanbildungspotential im Labortest wurden die Versuche zur anaeroben Fermentation von Schalen und Pulpe im kontinuierlichen Verfahren auf den Technikkumsmaßstab ausgedehnt [16]. Da es sich hierbei um eine Monofermentation handelt, welche oft durch das Fehlen von Spurenelementen limitiert wird, wurde hierbei die Wirkung der Zugabe von Spurenelementen untersucht. Erwartungsgemäß waren die Methanerträge geringer als im absätzigen Laborversuch (HBT). Durch Zugabe von Spurenelementen (Mo, Zn, Ni, Fe) konnte jedoch der Methanertrag von 193 auf 218 l pro kg oTS gesteigert werden. Da diese Spurenelemente im Dung aus der Tierhaltung ausreichend zur Verfügung stehen, bietet sich in Äthiopien eine entsprechende Kofermentation an. Die Wirkung müsste in weiteren Versuchen untersucht werden. In Äthiopien werden Biogasanlagen in der Regel ohne Beheizung des Fermenters betrieben. Die Betriebstemperaturen liegen deshalb je nach Standort und Jahreszeit unterhalb der Standardtemperatur von 37 °C. Um die Ergebnisse aus dem Laborversuch (HBT) besser auf solche Verhältnisse übertragbar zu machen, wurden die Versuchsreihen außer bei 37 °C auch bei 30 °C und 21 °C durchgeführt [17]. Neben einer Verringerung der Gasbildungsrate ergab sich bei niedrigerer Temperatur auch ein geringerer erreichbarer Methananteil. So betrug der Methanertrag von Pulpe bei 21 °C nur 196 l/kg oTS im Vergleich zu 235 l/kg oTS bei 37 °C. Die experimentellen Ergebnisse wurden mit dem Logit Modell und dem Gompertz Modell gefittet. Dabei wurde – nach unserem Wissen erstmalig – die Temperatur als Variable in diese Modelle eingeführt. Damit ist es nun möglich, den Einfluss der Temperatur auf den zeitlichen Verlauf der Methanbildung und den erreichbaren Methanertrag innerhalb dieses Temperaturbereiches zu interpolieren.

Zusammenfassung

Unter Einsatz einer enzymatischen Vorbehandlung ist es gelungen, Maniokwurzeln mit einer Bürstenschälmaschine verlustarm zu schälen. Durch osmotische Vortrocknung konnten die Trocknungsdauer verkürzt und die sensorische Qualität verbessert werden. Mit Hilfe von eisgefüllten Einsätzen war es möglich, die Milch auf kleinbäuerlichen Betrieben direkt in den Kannen zu kühlen. Das Eis wurde dabei in PV-betriebenen Gefriertruhen erzeugt. Aus den Nebenprodukten der primären Kaffeeverarbeitung wurde erfolgreich Biogas gewonnen. Künftig könnte damit in Blockheizkraftwerken der elektrische und thermische Energiebedarf von Kaffeeaufbereitungsanlagen gedeckt werden.

Literatur

- [1] N.N.: FAOSTAT Food and agriculture data. URL – <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> - Zugriff am 22.02.2020.
- [2] Badejo, A.A.: Elevated carotenoids in staple crops: the biosynthesis, challenges and measures for target delivery. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology* 16 (2018), S. 553-562.
- [3] Ayetigbo, O.; Latif, S.; Abass, A. und Müller, J.: Osmotic dehydration kinetics of biofortified yellow-flesh cassava in contrast to white-flesh cassava (*Manihot esculenta*). *Journal of Food Science and Technology* (2019), S. 4251–4265.
- [4] Ayetigbo, O.; Latif, S.; Abass, A. und Müller, J.: Preparation, optimization and characterization of foam from white-flesh and yellow-flesh cassava (*Manihot esculenta*) for powder production. *Food Hydrocolloids* 97 (2019), 105205.
- [5] Barati, Z.; Latif, S.; Romuli, S. und Müller, J.: Freeze–thaw pre-treatment of cassava tubers to improve efficiency of mechanical peeling applied sciences 9 (2019), 2856.
- [6] Barati, Z.; Latif, S. und Müller, J.: Enzymatic hydrolysis of cassava peels as potential pre-treatment for peeling of cassava tubers. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 20 (2019), 101247.
- [7] Barati, Z.; Latif, S.; Romuli, S. und Müller, J.: Enzyme-assisted mechanical peeling of cassava tubers. *Catalysts* 10 (2020), 66.
- [8] Torres, V.; Salvatierra, A.; Mrabet, F. und Müller, J.: Solar powered cooling for enhancing milk value chains. *Rural* 21 01/17 (2017), S. 41-43.
- [9] Coca-Ortegon, A.; Torres-Toledo, V.; Müller, J. und Coronas, A.: Assessment of a solar powered refrigerator equipped with thermal storage for a dairy application. *ISES Solar World Congress 2017 - IEA SHC International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry* 30 October - 2 November 2017 Abu Dhabi, U.A.E., S. 1-12.
- [10] Torres-Toledo, V.; Meissner, K.; Coronas, A. und Müller, J.: Performance characterisation of a small milk cooling system with ice storage for PV applications. *International Journal of Refrigeration* 60 (2015), S. 81-91.
- [11] Torres-Toledo, V.; Meissner, K.; Täschner, P.; Martinez-Ballester, S. und Müller, J.: Design and performance of a small-scale solar ice-maker based on a DC-freezer and an adaptive control unit. *Solar Energy* 139 (2016), S. 433-443.
- [12] Torres-Toledo, V.; Hack, A.; Mrabet, F.; Salvatierra-Rojas, A. und Müller, J.: On-farm milk cooling solution based on insulated cans with integrated ice compartment. *International Journal of Refrigeration* 90 (2018), S. 22-31.
- [13] Chala, B.; Oechsner, H.; Latif, S. und Müller, J.: Biogas potential of coffee processing waste in Ethiopia. *Sustainability* 10 (2018), 2678.
- [14] Chala, B.; Latif, S. und Müller, J.: Potential of by-products from primary coffee processing as source of biofuels. *Tropentag 2015 "Plant 2030"* 4 - 6 March, 2015 Potsdam, Germany, S. 641.

- [15] Chala, B.; Latif, S.; Oechsner, H. und Müller, J.: Biogas yield potential of by-products from primary coffee processing. 24th EUBCE 2016 6 - 9 June 2016 Amsterdam, Netherlands, S. 13.
- [16] Chala, B.; Oechsner, H.; Fritz, T.; Latif, S. und Müller, J.: Increasing the loading rate of continuous stirred tank reactor for coffee husk and pulp: Effect of trace elements supplement. Engineering in Life Sciences 18 (2018), S. 551-561.
- [17] Chala, B.; Oechsner, H. und Müller, J.: Introducing temperature as variable parameter into kinetic models for anaerobic fermentation of coffee husk, pulp and mucilage. Applied Sciences 9 (2019), S. 15.

Autorendaten

Prof. Dr. Joachim Müller ist Fachgebietsleiter des Fachgebiets Agrartechnik in den Tropen und Subtropen am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim in Stuttgart.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Müller, Joachim: Agrartechnik in Tropen und Subtropen. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2019. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2020. S. 1-9

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202001201541-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2019/chapter/tropensubtropen.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.